

## Einführung: Das Internationale Einheitensystem (SI)

### SI = Système International d'unités

Als weitere Literatur empfehle ich NIST Special Publication 811 (SP 811), prepared by B. N. Taylor and entitled *Guide for the Use of the International System of Units (SI)*, and NIST Special Publication 330 (SP 330), edited by B. N. Taylor and entitled *The International System of Units (SI)*.

### Nützliche Definitionen

Eine **Größe im allgemeinen Sinn** ist eine Eigenschaft, die einem Phänomen, einem Körper oder Substanz zugeschrieben werden kann. Beispiel: Die Masse oder die Elektrische Ladung

Eine **Größe im speziellen Sinn** ist eine quantifizierbare oder zuordenbare Eigenschaft, die einem Phänomen, einem Körper oder Substanz zugeschrieben werden kann. Beispiel: Die Masse des Mondes oder die elektrische Ladung eines Protons.

Eine **Physikalische Größe** ist eine Größe wie sie in mathematischen Gleichungen in Wissenschaft und Technologie verwendet wird.

Eine **Einheit** ist eine spezielle physikalische Größe, die durch ein Übereinkommen definiert oder angepasst ist, durch das andere spezielle Größen gleicher Art verglichen werden können, um ihren Wert zu beschreiben.

Der **Wert einer physikalischen Größe** ist der quantitative Ausdruck einer speziellen physikalischen Größe als das Produkt einer Zahl und der Einheit, die Zahl ist ihr numerischer Wert.

Beispiel: Der Wert der Höhe  $h_W$  des "Washington Monument" ist  $h_W = 169 \text{ m} = 555 \text{ ft}$ . Hier ist  $h_W$  die physikalische Größe, der Wert wird durch die Einheit "meter" ausgedrückt, das Einheitssymbol ist m, also 169 m, and der numerische Wert in Metern ausgedrückt ist 169. Wenn man jedoch den Wert von  $h_W$  in der Einheit "foot," symbol ft, misst, so ergibt das 555 ft, und der numerische Wert in feet wäre 555.

Dieses Kapitel basiert (ins Deutsche übersetzt) auf der NIST – Webseite <http://physics.nist.gov/>

## SI Basiseinheiten

Die SI – Einheiten basieren auf den sieben SI – Basis Einheiten für sieben Basisgrößen von denen angenommen wird, dass sie voneinander unabhängig sind, siehe Tabelle 1.

**Tabelle 1. SI Basiseinheiten/SI base units**

Basisgröße/Base quantity	SI base unit	
	Name	Symbol
Länge/length	meter	m
Masse/mass	kilogram	kg
Zeit/time	second	s
Elektrischer Strom/electric current	ampere	A
Thermodynamische Temperatur/thermodynamic temperature	kelvin	K
Stoffmenge/amount of substance	mole	mol
Lichtstärke/luminous intensity	candela	cd

Eine detaillierte Information zu den SI – Einheiten findet man in [Definitions of the SI base units](#) und ihrem [Historical context](#).

Die 20 SI Präfixes zur Bildung von dezimalen Vielfachen sind in der folgenden Tafel aufgelistet.

**Tabelle: SI-Präfixe/SI prefixes**

Factor	Name	Symbol	Factor	Name	Symbol
$10^{24}$	yotta	Y	$10^{-1}$	deci	d
$10^{21}$	zetta	Z	$10^{-2}$	centi	c
$10^{18}$	exa	E	$10^{-3}$	milli	m
$10^{15}$	peta	P	$10^{-6}$	micro	$\mu$
$10^{12}$	tera	T	$10^{-9}$	nano	n
$10^9$	giga	G	$10^{-12}$	pico	p
$10^6$	mega	M	$10^{-15}$	femto	f
$10^3$	kilo	k	$10^{-18}$	atto	a
$10^2$	hecto	h	$10^{-21}$	zepto	z
$10^1$	deka	da	$10^{-24}$	yocto	y

Anmerkung: Nur zur Information

### Prefixes for binary multiples

In December 1998 the International Electrotechnical Commission (IEC), the leading international organization for worldwide standardization in electrotechnology, approved as an IEC International Standard names and symbols for prefixes for binary multiples for use in the fields of data processing and data transmission. The prefixes are as follows:

### Prefixes for binary multiples

Factor	Name	Symbol	Origin	Derivation
$2^{10}$	kibi	Ki	kilobinary: $(2^{10})^1$	kilo: $(10^3)^1$
$2^{20}$	mebi	Mi	megabinary: $(2^{10})^2$	mega: $(10^3)^2$
$2^{30}$	gibi	Gi	gigabinary: $(2^{10})^3$	giga: $(10^3)^3$
$2^{40}$	tebi	Ti	terabinary: $(2^{10})^4$	tera: $(10^3)^4$
$2^{50}$	pebi	Pi	petabinary: $(2^{10})^5$	peta: $(10^3)^5$
$2^{60}$	exbi	Ei	exabinary: $(2^{10})^6$	exa: $(10^3)^6$

### Examples and comparisons with SI prefixes

one **kibibit** 1 Kibit =  $2^{10}$  bit = **1024 bit**

one **kilobit** 1 kbit =  $10^3$  bit = **1000 bit**

one **mebibyte** 1 MiB =  $2^{20}$  B = **1 048 576 B**

one **megabyte** 1 MB =  $10^6$  B = **1 000 000 B**

one **gibibyte** 1 GiB =  $2^{30}$  B = **1 073 741 824 B**

one **gigabyte** 1 GB =  $10^9$  B = **1 000 000 000 B**

It is suggested that in English, the first syllable of the name of the binary-multiple prefix should be pronounced in the same way as the first syllable of the name of the corresponding SI prefix, and that the second syllable should be pronounced as "bee."

It is important to recognize that the new prefixes for binary multiples are not part of the International System of Units (SI), the modern metric system. However, for ease of understanding and recall, they were derived from the SI prefixes for positive powers of ten. As can be seen from the above table, the name of each new prefix is derived from the name of the corresponding SI prefix by retaining the first two letters of the name of the SI prefix and adding the letters "bi," which recalls the word "binary." Similarly, the symbol of each new prefix is derived from the symbol of the corresponding SI prefix by adding the letter "i," which again recalls the word "binary." (For consistency with the other prefixes for binary multiples, the symbol Ki is used for  $2^{10}$  rather than ki.)

Für ein leichteres Verständnis und bequemen Umgang haben 22 abgeleitete SI – Einheiten besondere Namen bekommen - wie hier in der folgenden Tabelle gezeigt wird.

**Tabelle. Von SI abgeleitete Einheiten mit speziellen Namen und Symbolen**  
**SI derived units with special names and symbols**

Abgeleitete Größe Derived quantity	SI abgeleitete Einheiten/derived unit			
	Name	Symbol	Expression in terms of other SI units	Expression in terms of SI base units
Ebener Winkel/plane angle	radian <sup>(a)</sup>	rad	-	$m \cdot m^{-1} = 1$ <sup>(b)</sup>
Raumwinkel/solid angle	steradian <sup>(a)</sup>	sr <sup>(c)</sup>	-	$m^2 \cdot m^{-2} = 1$ <sup>(b)</sup>
Frequenz/frequency	hertz	Hz	-	$s^{-1}$
Kraft/force	newton	N	-	$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
Druck/pressure, stress	pascal	Pa	$N/m^2$	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
Energie, Arbeit, Wärmeeinheit/energy, work, quantity of heat	joule	J	$N \cdot m$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
Leistung, Strahlungsfluss/power, radiant flux	watt	W	$J/s$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
Elektrische Ladung/electric charge, quantity of electricity	coulomb	C	-	$s \cdot A$
Elektrische Potenzialdifferenz, elektrische Spannung electric potential difference, electromotive force	volt	V	$W/A$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
Kapazität/capacitance	farad	F	$C/V$	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
Elektrischer Widerstand/electric resistance	ohm	$\Omega$	$V/A$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
Elektrische Leitfähigkeit/electric conductance	siemens	S	$A/V$	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$
Magnetischer Fluss/magnetic flux	weber	Wb	$V \cdot s$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
Magnetische Flussdichte/magnetic flux density	tesla	T	$Wb/m^2$	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
Induktion/inductance	henry	H	$Wb/A$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
Celsius temperature	degree Celsius	$^{\circ}C$	-	K
Lichtstrom/luminous flux	lumen	lm	$cd \cdot sr$ <sup>(c)</sup>	$m^2 \cdot m^{-2} \cdot cd = cd$
Beleuchtungsstärke/illuminance	lux	lx	$lm/m^2$	$m^2 \cdot m^{-4} \cdot cd = m^{-2} \cdot cd$
Aktivität/activity (of a radionuclide)	becquerel	Bq	-	$s^{-1}$
Absorbierte Dosis absorbed dose, specific energy (imparted), kerma	gray	Gy	$J/kg$	$m^2 \cdot s^{-2}$
Dosisäquivalent dose equivalent <sup>(d)</sup>	sievert	Sv	$J/kg$	$m^2 \cdot s^{-2}$
katalytische Aktivität catalytic activity	katal	kat		$s^{-1} \cdot mol$

<sup>(a)</sup> The radian and steradian may be used advantageously in expressions for derived units to distinguish between quantities of a different nature but of the same dimension.

<sup>(b)</sup> In practice, the symbols rad and sr are used where appropriate, but the derived unit "1" is generally omitted.

<sup>(c)</sup> In photometry, the unit name steradian and the unit symbol sr are usually retained in expressions for derived units.

<sup>(d)</sup> Other quantities expressed in sieverts are ambient dose equivalent, directional dose equivalent, personal dose equivalent, and organ equivalent dose.

Basisgröße und Dimensionsname	Größen-symbol	Dimensions-symbol	Einheit	Einheiten-zeichen	Definition der SI – Einheit (aus WIKIPEDIA „Einheitensysteme“/NIST-Übersetzung)
<a href="#">Länge</a>	<i>l</i>	L	<a href="#">Meter</a>	m	Länge der Strecke, die das Licht im Vakuum während der Dauer von 1 / 299.792.458 Sekunde zurücklegt. <sup>[B.1]</sup>
<a href="#">Masse</a>	<i>m</i>	M	<a href="#">Kilogramm</a>	kg	Das Kilogramm ist gleich der Masse des Internationalen Kilogrammprototyps <sup>[B.2]</sup> . Das 9.192.631.770-fache der Periodendauer der dem Übergang zwischen den beiden <a href="#">Hyperfeinstruktur</a> niveaus des Grundzustandes von Atomen des <a href="#">Caesium-Isotops</a> <sup>133</sup> Cs entsprechenden Strahlung.
<a href="#">Zeit</a>	<i>t</i>	T	<a href="#">Sekunde</a>	s	Stärke eines <a href="#">konstanten elektrischen Stromes</a> , der, durch zwei <a href="#">parallele, geradlinige</a> , unendlich lange und im <a href="#">Vakuum</a> im <a href="#">Abstand</a> von 1 Meter voneinander angeordnete <a href="#">Leiter</a> von vernachlässigbar kleinem, <a href="#">kreisförmigem Querschnitt</a> fließend, zwischen diesen Leitern pro Meter <a href="#">Leiterlänge</a> die <a href="#">Kraft</a> $2 \times 10^{-7}$ <a href="#">Newton</a> hervorrufen würde. <sup>[B.3]</sup>
<a href="#">Stromstärke</a>	<i>I</i> oder <i>i</i>	I	<a href="#">Ampere</a>	A	1 / 273,16 der thermodynamischen Temperatur des <a href="#">Tripelpunkts</a> von Wasser genau definierter isotopischer Zusammensetzung. <sup>[B.4]</sup>
<a href="#">Thermodynamische Temperatur</a>	<i>T</i>	Θ	<a href="#">Kelvin</a>	K	Die Stoffmenge eines Systems, das aus ebenso viel Einzelteilchen besteht, wie Atome in 0,012 Kilogramm des <a href="#">Kohlenstoff-Isotops</a> <sup>12</sup> C in ungebundenem Zustand enthalten sind. <sup>[B.5]</sup> Bei Benutzung des Mol müssen die Einzelteilchen spezifiziert sein und können Atome, Moleküle, Ionen, Elektronen sowie andere Teilchen oder Gruppen solcher Teilchen genau angegebener Zusammensetzung sein.
<a href="#">Stoffmenge</a> (Substanzmenge)	<i>n</i>	N	<a href="#">Mol</a>	mol	Die Lichtstärke in einer bestimmten Richtung einer Strahlungsquelle, die monochromatische Strahlung der Frequenz $540 \times 10^{12}$ Hz <sup>[B.6]</sup> aussendet und deren Strahlstärke in dieser Richtung 1 / 683 Watt pro <a href="#">Steradian</a> beträgt.
<a href="#">Lichtstärke</a>	<i>I<sub>v</sub></i>	J	<a href="#">Candela</a>	cd	

- ↑ Durch diese Definition wurde die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum (eine Naturkonstante)  $c_0$  auf exakt 299.792.458 m/s (= 1.079.252.848,8 km/h) festgelegt.
- ↑ [Urkilogramm](#)
- ↑ Durch diese Definition wurde die magnetische Konstante (eine Naturkonstante)  $\mu_0$  auf exakt  $4 \cdot \pi \times 10^{-7}$  H/m festgelegt.
- ↑ Durch diese Definition wurde die Temperatur des Tripelpunktes des Wassers auf exakt 273,16 K (= 0,01 °C) festgelegt. Das Wasser genau definierter isotopischer Zusammensetzung ist das [Vienna Standard Mean Ocean Water \(VSMOW\)](#). Die Beschreibung des Normals erfolgt durch die [Internationale Temperaturskala](#) aus dem Jahr 1990 ([ITS-90](#)).
- ↑ Durch diese Definition wurde die molare Masse von <sup>12</sup>C auf exakt  $12 \times 10^{-3}$  kg/mol (= 12 g/mol) festgelegt.
- ↑ Wellenlänge: ca. 555 nm

Man kann erkennen, dass nur die drei Basiseinheiten Kilogramm, Sekunde und Kelvin unabhängig von anderen Basiseinheiten definiert sind, während die Definitionen der übrigen vier Basiseinheiten Abhängigkeiten zu anderen Basiseinheiten aufweisen:

- Meter von Sekunde
- Mol von Kilogramm
- Ampere sowie Candela von Meter, Kilogramm und Sekunde

**Anmerkung: Nur zur Information**

**Table. Examples of SI derived units whose names and symbols include SI derived units with special names and symbols**

Derived quantity	SI derived unit	
	Name	Symbol
dynamic viscosity	pascal second	Pa·s
moment of force	newton meter	N·m
surface tension	newton per meter	N/m
angular velocity	radian per second	rad/s
angular acceleration	radian per second squared	rad/s <sup>2</sup>
heat flux density, irradiance	watt per square meter	W/m <sup>2</sup>
heat capacity, entropy	joule per kelvin	J/K
specific heat capacity, specific entropy	joule per kilogram kelvin	J/(kg·K)
specific energy	joule per kilogram	J/kg
thermal conductivity	watt per meter kelvin	W/(m·K)
energy density	joule per cubic meter	J/m <sup>3</sup>
electric field strength	volt per meter	V/m
electric charge density	coulomb per cubic meter	C/m <sup>3</sup>
electric flux density	coulomb per square meter	C/m <sup>2</sup>
permittivity	farad per meter	F/m
permeability	henry per meter	H/m
molar energy	joule per mole	J/mol
molar entropy, molar heat capacity	joule per mole kelvin	J/(mol·K)
exposure (x and γ-rays)	coulomb per kilogram	C/kg
absorbed dose rate	gray per second	Gy/s
radiant intensity	watt per steradian	W/sr
radiance	watt per square meter steradian	W/(m <sup>2</sup> ·sr)
catalytic (activity) concentration	katal per cubic meter	kat/m <sup>3</sup>

## Typefaces for Symbols in Scientific Manuscripts

Most word processing software now in use at NIST is capable of producing lightface (that is, regular) or boldface letters of the Latin or Greek alphabets in both roman (upright) and italic (sloping) types. The understandability of typed and typeset scientific and technical publications is facilitated if symbols are in the correct typeface. The following rules are taken from International Organization for Standardization (ISO) International Standard ISO 31-0:1992 to ISO 31-13:1992.

The typeface in which a symbol appears helps to define what the symbol represents. For example, irrespective of the typeface used in the surrounding text, “A” would be typed or typeset in

- italic type for the *scalar quantity* area: *A*;
- roman type for the *unit* ampere: A;
- italic boldface for the *vector quantity* vector potential: ***A***.

More specifically, the three major categories of symbols found in scientific and technical publications should be typed or typeset in either italic or roman type, as follows:

- symbols for *quantities* and *variables*: italic;
- symbols for *units*: roman;
- symbols for *descriptive terms*: roman.

These rules imply that a subscript or superscript on a quantity symbol is in roman type if it is descriptive (for example, if it is a number or represents the name of a person or a particle); but it is in italic type if it represents a quantity, or is a variable such as  $x$  in  $E_x$  or an index such as  $i$  in  $\sum_i x_i$  that represents a number. An index that represents a number is also called a “running number.” The following four sections give examples of the proper typefaces for these three major categories.

### Quantities and variables — italic

Symbols for quantities are italic, as are symbols for functions in general, for example,  $f(x)$ :

$$\begin{array}{llll} t = 3 \text{ s} & t \text{ time, s second} & T = 22 \text{ K} & T \text{ temperature, K kelvin} \\ r = 11 \text{ cm} & r \text{ radius, cm centimeter} & \lambda = 633 \text{ nm} & \lambda \text{ wavelength, nm nanometer} \end{array}$$

Constants are usually physical quantities and thus their symbols are italic; however, in general, symbols used as subscripts and superscripts are roman if descriptive:

$$\begin{array}{ll} N_A & \text{Avogadro constant, A Avogadro} \\ \theta_D & \text{Debye temperature, D Debye} \\ e & \text{elementary charge} \\ R & \text{molar gas constant} \\ Z & \text{atomic number} \\ m_e & m \text{ mass, e electron} \end{array}$$

Running numbers and symbols for variables in mathematical equations are italic, as are symbols for parameters such as  $a$  and  $b$  that may be considered constant in a given context:

$$y = \sum_{i=1}^m x_i z_i \qquad x^2 = ay^2 + bz^2$$

Symbols for vectors are boldface italic, symbols for tensors are sans-serif bold italic, and symbols for matrices are boldface italic:

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{B} = \mathbf{C} \quad (\text{vectors}) \qquad \mathbf{T} \quad (\text{tensors}) \qquad \mathbf{A} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} \quad (\text{matrices})$$

Symbols used as subscripts and superscripts are italic if they represent quantities or variables:

$$c_p \quad p \text{ pressure} \qquad q_m \quad m \text{ mass} \qquad \sigma_\Omega \quad \Omega \text{ solid angle} \qquad \omega_z \quad z \quad z \text{ coordinate}$$

### Units — roman

The symbols for units and SI prefixes are roman:

$$\begin{array}{lll} \text{m} & \text{meter} & \text{g} & \text{gram} & \text{L} & \text{liter} \\ \text{cm} & \text{centimeter} & \mu\text{g} & \text{microgram} & \text{mL} & \text{milliliter} \end{array}$$

